

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-082607

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/207

G03F 9/00

(21)Application number : 07-235690

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 13.09.1995

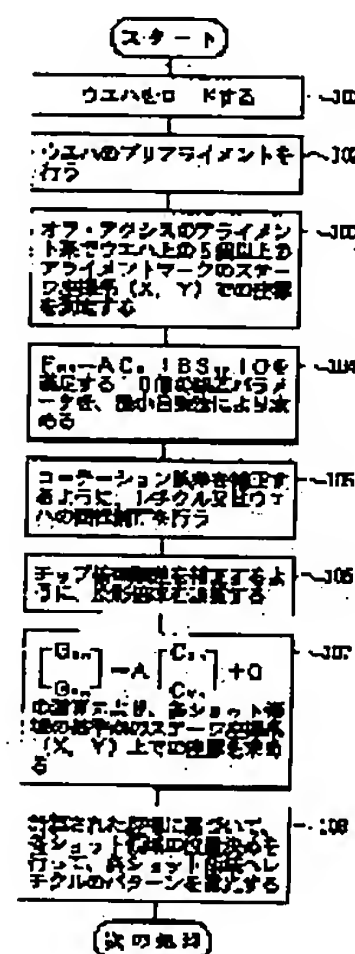
(72)Inventor : OKAMOTO HIROKI
KAWAKUBO SHOJI

(54) EXPOSURE METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an exposure method capable of registering a reticle pattern on each shot region with high precision without the influence of the lens distortion of exposure units on alignment target layers.

SOLUTION: If it is known which exposure unit is provided to which alignment target layer while the distortion data on the projection lens of each exposure unit is known, then projection magnification and/or shot rotation obtained by a multipoint EGA operation are/is corrected by using the known data on each exposure unit and an exposure apparatus is thereby adjusted by using the corrected amounts (Steps 105 and 106). If it is unknown which exposure unit is provided to which alignment target layer, exposure units on alignment target layers are specified based on the distribution of non-linear errors calculated from measured values of alignment marks in shot regions. By using the correct projection magnification and shot rotation thus obtained, a reticle pattern is registered on each shot region and exposed (Step 108).



• [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-82607

(43)公開日 平成9年(1997)3月28日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 E
G 0 3 F	7/207		G 0 3 F 7/207	H
	9/00		9/00	H
			H 0 1 L 21/30	5 1 6 B
				5 2 0 A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平7-235690

(22)出願日 平成7年(1995)9月13日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 岡本 洋基

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 川久保 昌治

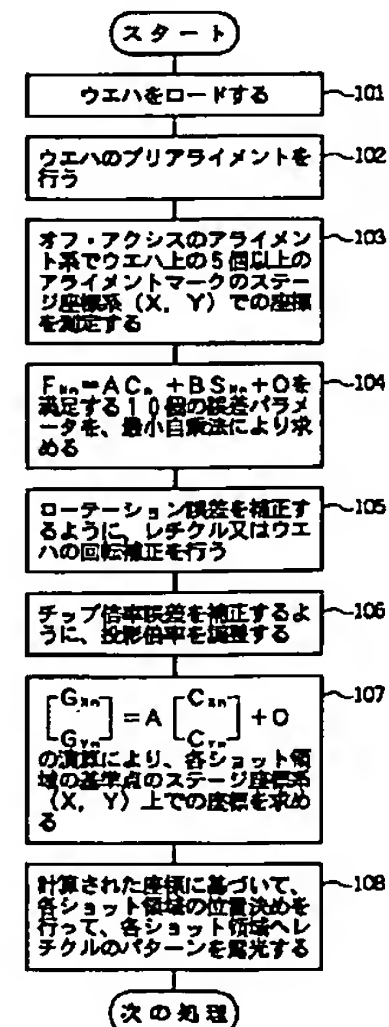
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 露光方法

(57)【要約】

【目的】 アライメント・ターゲット層露光号機のレンズ・ディストーションの影響を受けずにレチクルパターンをショット領域に高精度に重ね合わせることのできる露光方法を提供する。

【構成】 各露光号機の投影レンズのディストーションデータ自体は露光号機毎に既知であるので、アライメントターゲット層露光号機が既知の場合には、その露光号機の既知のデータを用いて、多点E G A演算で求められた投影倍率及び／又はショット回転を補正し、その補正された量で露光装置を調整する（ステップ105、106）。アライメントターゲット層露光号機が未知の場合には、ショット内のアライメントマーク計測値から算出された非線形誤差の分布状態からアライメントマーク露光号機を特定する。レチクルパターンは、こうして求められた正しい投影倍率、ショット回転のもとでショット領域に高精度に重ね合わせて露光される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、

ショット領域内の複数のアライメントマーク位置を計測する工程と、前記計測されたアライメントマーク位置及び前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズのディストーションデータを用いてレチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 2】 被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、

ショット領域内の複数のアライメントマーク位置を計測する工程と、前記工程で計測されたアライメントマーク位置と設計位置との誤差を算出する工程と、前記誤差のうちの非線形成分を抽出する工程と、前記抽出された誤差の非線形成分と既知の投影レンズのディストーションデータに基づき前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する工程と、前記計測されたアライメントマーク位置及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いてレチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体集積回路や液晶表示素子等を製造する工程の一工程であるリソグラフィ工程においてマスク又はレチクルのパターンを感光基板上に投影露光する露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体集積回路等の製造には縮小投影型露光装置（ステッパー）が使用され、半導体ウエハ上にすでに形成されたチップパターン（ショット領域）にマスク又はレチクル（以下、「レチクル」という）の新たな回路パターンを重ね合わせて露光することが行われるが、その際ショット領域に対するアライメント及び露光装置の調整を高精度で行うことが重要である。

【0003】 ウエハ上には、予め設定された配列座標に基づいて多数のショット領域が規則的に配列され、各ショット領域には位置合わせ用のアライメントマークを含むチップパターンが形成されている。レチクルパターンをウエハのショット領域にアライメントする方法としては、例えば特開平 6-275496 号公報に記載されて

いるようなチップの倍率、回転等をも加味したエンハンス・グローバル・アライメント法（以下「多点 EGA 方式」という）が知られている。

【0004】 この多点 EGA 方式のアライメントについて説明する。この方式は、ショット領域内の複数点に設けられたアライメントマークの計測位置と設計上の位置との誤差が以下の(1)～(7)に列挙する要因に基づくものとして、統計的演算手法によりアライメントすべきショットの配列座標、チップの倍率、回転等を算出するものである。

(1) ウエハの残留回転誤差 Θ 、(2) ステージ座標系（又はショット配列）の直交度誤差 W 、(3) ウエハの線形伸縮 R_x , R_y 、(4) ウエハ中心位置のオフセット（平行移動） O_x , O_y 、(5) ウエハの各ショット領域上のチップパターンの残留回転誤差 θ 、(6) ウエハ上の座標系（チップパターン）の直交度誤差 w 、(7) チップパターンの直交する 2 方向への線形伸縮 r_x , r_y 。ここで、誤差パラメータ Θ , W , R_x , R_y , O_x , O_y はステージ座標系 X , Y に対して定義され、チップパターンに関する誤差パラメータ θ , w , r_x , r_y はショット領域の座標系 x , y に対して定義される。

【0005】 ウエハ上で選択された複数のショット領域の基準点（例えば、ショット中心）の、ウエハ上の座標系 (α, β) 上での設計上の配列座標値を C_n 、測定されたアライメントマークの各ショット領域上の座標系 (x, y) での設計上の座標値（相対座標値）を S_{Nn} 、そのアライメントマークがステージ座標系 (X, Y) 上であるべき計算上の座標値を F_{Nn} とすると、 F_{Nn} は次の(数 1)のように表される。

【0006】

【数 1】

$$F_{Nn} = A C_n + B S_{Nn} + O$$

【0007】 ただし、上式の各ベクトル及び変換行列は次の(数 2)のように定義される。ここで、ウエハの残留回転誤差 Θ 、直交度誤差 W 、チップパターンの残留回転誤差 θ 、直交度誤差 w は微小量であるとして一次近似を行っており、また、

$$R_x = 1 + \Gamma_x, \quad R_y = 1 + \Gamma_y,$$

$$r_x = 1 + \gamma_x, \quad r_y = 1 + \gamma_y$$

とし、 Γ_x , Γ_y , γ_x , γ_y は微小量であるとして近似を行っている。

【0008】

【数 2】

$$F_{Nn} = \begin{bmatrix} F_{NXn} \\ F_{NYn} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 + \Gamma x & -(W + \Theta) \\ \Theta & 1 + \Gamma y \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 + \gamma X & -(w + \theta) \\ \theta & 1 + \gamma y \end{bmatrix}, \quad O = \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

$$C_n = \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix}, \quad S_{Nn} = \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【0009】そして、最小自乗法により（数1）を満足する10個の誤差パラメータ（ Θ , W , Γx , Γy , O_x , O_y , θ , w , γx , γy ）を求める。具体的には、実際に計測された座標値（ F_{MNXn} , F_{MNYn} ）とその計算上の座標値（ F_{NXn} , F_{NYn} ）の差（ E_{NXn} , E_{NYn} ）をアライメント誤差と考える。従って、 $E_{NXn} = F_{MNXn} - F_{NXn}$, $E_{NYn} = F_{MNYn} - F_{NYn}$ である。そして、5組以上のアライメント誤差（ E_{NXn} , E_{NYn} ）、即ち10個以上のアライメント誤差の自乗和をそれら10個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値が最小になるような方程式をたてて、最小自乗法によりそれら10個の連立方程式を解けば10個の誤差パラメータを求めることができる。

【0010】その後、前記変換行列B中のチップローテーションの回転誤差 θ を補正するように、レチクルに適当な回転を施すか、又はウエハを回転させることにより、ステージ座標系（ X , Y ）に対するチップパターンの回転を補正する。チップの直交度誤差 w は、厳密な意味では補正できないが適度にレチクルを回転させることで、その誤差を小さく抑えることができる。そこで、ウエハの残存回転誤差 Θ 、チップパターンの残存回転誤差 θ 及び直交度誤差 w のそれぞれの絶対値の和が最小になるように、レチクル又はウエハの回転量を最適化することも可能である。次に、変換行列B中のチップスケール誤差 γx , γy を補正するように、投影光学系の投影倍率を調整する。続いて、変換行列A及びOを用いて、次の（数3）にウエハ上の各ショット領域の基準点の設計上の配列座標値（ C_{Xn} , C_{Yn} ）を代入することにより、その基準点のステージ座標系（ X , Y ）上での計算上の配列座標値（ G_{Xn} , G_{Yn} ）を求める。

【0011】

【数3】

$$\begin{bmatrix} G_{Xn} \\ G_{Yn} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + O$$

【0012】そして、計算により得られた配列座標（ G_{Xn} , G_{Yn} ）及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ上の各ショット領域の基準点を順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、そのショット領域に対してレチクルのパターン像を投影露光する。そして、ウエハ上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウエハの現像等の処理が行われる。

【0013】この多点EGA方式のアライメントによると、（数1）に示されているように、変換行列A及びOのみならず、チップローテーション、チップの直交度誤差及びチップスケール誤差の各パラメータを含む変換行列Bをも考慮しているため、各ショット領域に転写されるチップパターン自体の伸縮や回転などの影響を小さく抑え、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】前記多点EGA方式のアライメントでは、ショット内エラー、すなわちチップローテーション、チップの直交度誤差及びチップスケール誤差のパラメータを求めるために、ショット内に複数点配置されたアライメントマークを計測する。しかし、計測されたアライメント・マークの座標値には、アライメント・ターゲット層露光号機のレンズ・ディストーションによる誤差が含まれている。このため、その計測値をそのまま用いて、チップローテーションの回転誤差 θ を補正するようにレチクル又はウエハを回転させたり、チップスケール誤差 γx , γy を補正するように投影光学系の投影倍率を調整すると、ショット倍率エラー

やショット回転エラーが発生してしまう。

【0015】本発明は、アライメント・ターゲット層露光号機のレンズ・ディストーションの影響を受けずにレチクルパターンをショット領域に高精度に重ね合わせることのできる露光方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】各露光装置（露光号機）の投影レンズのディストーションデータ自体は露光号機毎に予め測定されていて既知である。従って、アライメントターゲット層を形成した露光号機が既知の場合には、その露光号機の既知のレンズ・ディストーションデータを用いて、計測されたアライメントターゲット位置から求められる投影倍率とショット回転との少なくとも一方を補正することができる。レチクルパターンは、こうして求められた正しい投影倍率、ショット回転のもとでショット領域に高精度に重ね合わされて露光される。

【0017】アライメントターゲット層露光号機が未知の場合には、ショット内のアライメントマーク計測値から先ずアライメントターゲット層露光号機を特定する。そのためにショット内のアライメントマーク計測値から、統計処理（多点EGA方式の計算手法）により非線形誤差を算出する。ショット内の非線形誤差は、露光号機のレンズ・ディストーションの影響を受けていると考えられるので、その分布状態からアライメントターゲット層がどの投影レンズ（露光号機）を使って露光されたのかを特定することができる。そして、特定した投影レンズのディストーションデータを基に、ショット内のアライメントマーク計測値から求められる投影倍率とショット回転との少なくとも一方を補正することができる。

【0018】すなわち、本発明は、被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、ショット領域内の複数のアライメントマーク位置を計測する工程と、計測されたアライメントマーク位置及びアライメントマーク形成に使用された投影レンズのディストーションデータを用いてレチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を補正する工程とを含むことを特徴とする。

【0019】また、本発明は、被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、ショット領域内の複数のアライメントマーク位置を計測する工程と、前記工程で計測されたアライメントマーク位置と設計位置との誤差を算出する工程と、前記誤差のうちの非線形成分を抽出する工程と、前記抽出された誤差の非線形成分と既知の投影レンズのディストーションデータに基づき前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する工程と、前記計測されたアライメントマーク位置及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いてレチクルパターンの投影倍率と投影像の回

転との少なくとも一方を補正する工程とを含むことを特徴とする。

【0020】本発明によると、アライメント・ターゲット層の露光に用いた露光号機の投影レンズのディストーションを考慮して、プロセス・ウエハのショット倍率及び回転を求めるので、装置間のショット内重ね合わせ精度を向上させることが可能となる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明による露光方法の一実施例につき図面を参照して説明する。本実施例はステップ・アンド・リピート方式で感光基板としてのウエハ上の各ショット領域にレチクルのパターンを露光する露光装置（ステッパー）に本発明を適用したものである。

【0022】図2は本例の露光装置を示し、この図2において、照明光学系1から射出された露光光1Lが、ほぼ均一な照度でレチクル2を照明する。レチクル2はレチクルステージ3上に保持され、レチクルステージ3はベース4上の2次元平面内で移動及び微小回転ができるように支持されている。装置全体の動作を制御する主制御系6が、ベース4上の駆動装置5を介してレチクルステージ3の動作を制御する。

【0023】露光光1Lのもとで、レチクル2のパターン像が投影光学系7を介してウエハ8上の各ショット領域に投影される。ウエハ8はウエハホルダー9を介してウエハステージ10上に載置されている。ウエハステージ10は、投影光学系7の光軸に垂直な面内でウエハ8を2次元的に位置決めするXYステージ、投影光学系7の光軸に平行な方向（Z方向）にウエハ8を位置決めするZステージ、及びウエハ8を微小回転させるステージ等より構成されている。

【0024】ウエハステージ10の上面にステージと共に移動する移動ミラー11が固定され、移動ミラー11に対向するようにレーザー干渉計12が配置されている。図2では簡略化して表示しているが、投影光学系7の光軸に垂直な面内の直交座標系をX軸及びY軸として、移動鏡11はX軸に垂直な反射面を有する平面鏡及びY軸に垂直な反射面を有する平面鏡より構成されている。また、レーザー干渉計12は、X軸に沿って移動鏡11にレーザービームを照射する2個のX軸用のレーザー干渉計及びY軸に沿って移動鏡11にレーザービームを照射するY軸用のレーザー干渉計より構成され、X軸用の1個のレーザー干渉計及びY軸用の1個のレーザー干渉計により、ウエハステージ10のX座標及びY座標が計測される。このように計測されるX座標及びY座標よりなる座標系（X，Y）を、以下ではステージ座標系又は静止座標系と呼ぶ。

【0025】また、X軸用の2個のレーザー干渉計の計測値の差により、ウエハステージ10の回転角が計測される。レーザー干渉計12により計測されたX座標、Y座標及び回転角の情報が座標計測回路12a及び主制御

系6に供給され、主制御系6は、供給された座標をモニターしつつ駆動装置13を介して、ウエハステージ10の位置決め動作を制御する。尚、図2には示していないが、レチクル側にもウエハ側と全く同じ干渉計システムが設けられている。

【0026】投影光学系7には結像特性制御装置14が装着されている。結像特性制御装置14は、例えば投影光学系7を構成するレンズ群の内の所定のレンズ群の間隔を調整するか、又は所定のレンズ群の間のレンズ室内の気体の圧力を調整することにより、投影光学系7の投影倍率、歪曲収差等の調整を行う。結像特性制御装置14の動作も主制御系6により制御されている。

【0027】本実施例では、投影光学系7の側面にオフ・アクシスのアライメント系15が配置され、このアライメント系15において、光源16からの照明光がコリメータレンズ17、ビームスプリッター18、ミラー19及び対物レンズ20を介してウエハ8上のアライメントマーク29の近傍に照射される。この場合、対物レンズ20の光軸20aと投影光学系7の光軸7aとの間隔であるベースライン量が予め計測されている。そして、アライメントマーク29からの反射光が、対物レンズ20、ミラー19、ビームスプリッター18及び集光レンズ21を介して指標板22上に照射され、指標板22上にアライメントマーク29の像が結像される。指標板22を透過した光は第1リレーレンズ23を経てビームスプリッター24に向かい、ビームスプリッター24を透過した光が、X軸用第2リレーレンズ25Xにより2次元CCDよりなるX軸用撮像素子26Xの撮像面上に集束され、ビームスプリッター24で反射された光が、Y軸用第2リレーレンズ25Yにより2次元CCDよりなるY軸用撮像素子26Yの撮像面上に集束される。撮像素子26X及び26Yの撮像面上にはそれぞれアライメントマーク29の像及び指標板22上の指標マークの像が重ねて結像される。撮像素子26X及び26Yの撮像信号は共に座標位置計測回路12aに供給される。

【0028】図3は図2の指標板22上のパターンを示し、この図3において、中央部に十字形のアライメントマーク29の像29Pが結像され、この像29Pの直交する直線パターン像29XP及び29YPに垂直なXP方向及びYP方向が、それぞれ図2のウエハステージ10のステージ座標系のX方向及びY方向と共役になっている。そして、アライメントマーク像29PをXP方向に挟むように2個の指標マーク31A及び31Bが形成され、アライメントマーク像29PをYP方向に挟むように2個の指標マーク32A及び32Bが形成されている。

【0029】この場合、XP方向で指標マーク31A、31B及び直線パターン像29XPを囲む検出領域33X内の像が図2のX軸用撮像素子26Xで撮像され、YP方向で指標マーク32A、32B及び直線パターン像

29YPを囲む検出領域33Y内の像が図2のY軸用撮像素子26Yで撮像される。更に、撮像素子26X及び26Yの各画素から光電変換信号を読み取る際の走査方向はそれぞれXP方向及びYP方向に設定され、撮像素子26X及び26Yの撮像信号を処理することにより、アライメントマーク像29Pと指標マーク31A、31B及び32A、32BとのXP方向及びYP方向の位置ずれ量を求めることができる。従って、図2において、座標計測回路12aは、ウエハ8上のアライメントマーク29の像と指標板22上の指標マークとの位置関係及びそのときのレーザー干渉計12の計測結果より、そのアライメントマーク29のステージ座標系(X, Y)上での座標を求め、このように計測された座標値を主制御系6に供給する。

【0030】次に、本実施例でウエハ8上の各ショット領域とレチクル2のパターン像との位置合わせを行って、各ショット領域への露光を行う際の動作につき説明する。図4(a)は本実施例のウエハ8を示し、この図4(a)において、ウエハ8上の直交する座標系(α , β)に沿って複数のショット領域27-n ($n=0, 1, 2, \dots$)がマトリックス状に配列され、各ショット領域27-nには前工程での露光及び現像等によりそれぞれチップパターンが形成されている。図4では、複数のショット領域の内の5つのショット領域27-1~27-5のみを代表して示している。

【0031】各ショット領域27-nにはそれぞれ基準位置が定められている。例えば基準位置を各ショット領域27-nの中心の基準点28-nとすると、この基準点28-nの、ウエハ8上の座標系(α , β)における設計上の座標値は、それぞれ(C_{xn} , C_{yn})で表されるものとする。また、各ショット領域27-nには、それぞれ4個の位置合わせ用のアライメントマーク29-n, 30-n, 34-n, 35-nが付随して設けられている。この場合、図4(a)のウエハ8上の座標系

(α , β)に平行に、各ショット領域27-nに図4(b)に示すようにショット領域上の座標系(x, y)を設定すると、アライメントマーク29-n, 30-n, 34-n, 35-nの座標系(x, y)上における設計上の座標はそれぞれ(S_{1xn} , S_{1yn}), (S_{2xn} , S_{2yn}), (S_{3xn} , S_{3yn})及び(S_{4xn} , S_{4yn})で表される。

【0032】図4(a)に戻り、ウエハ8を図2のウエハステージ10上に載置し、ステップ・アンド・リピート方式で既にチップパターンが形成された複数のショット領域の各々にレチクルの投影像を順次重ね合わせて露光が行われる。このとき、ウエハステージ10の移動位置を規定するステージ座標系(X, Y)とウエハの座標系(α , β)との対応関係が必ずしも前工程における関係と同じとは限らない。このため、座標系(α , β)に関する各ショット領域27-nの基準点28-nの設計

上の座標値 (C_{xn} , C_{yn}) からステージ座標系 (X , Y) 上の座標を求めて、この座標に基づいてウエハを移動させても、各ショット領域 $27-n$ が精密に位置合わせされないことがある。そこで、本実施例では、先ず従来例と同様にその位置合わせの誤差が次の4つの要因から生じたものとする。

①ウエハの回転：これはステージ座標系 (X , Y) に対するウエハの座標系 (α , β) の残留回転誤差 Θ で表される。

②ステージ座標系 (X , Y) の直交度：これは X 軸方向及び Y 軸方向のウエハステージ10の送りが正確に直交していないことにより生じ、直交度誤差 W で表される。

③ウエハの座標系 (α , β) における α 方向及び β 方向の線形伸縮 (ウエハスケール)：これはウエハ8が加工プロセス等によって全体的に伸縮することにより生じる。この伸縮量は α 方向及び β 方向についてそれぞれ

$$\begin{bmatrix} C'_{xn} \\ C'_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & 0 \\ 0 & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta \\ \sin \Theta & \cos \Theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\tan W \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{xn} \\ C_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

【0035】ここで、直交度誤差 W 及び残留回転誤差 Θ が微小量であるとして一次近似を行うと、(数4)は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} C'_{xn} \\ C'_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & -R_x \cdot (W + \Theta) \\ R_y \cdot \Theta & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{xn} \\ C_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

【0037】ここまでは、各ショット領域 $27-n$ 上の基準位置 (本実施例では各ショット領域の中心の基準点) を正確に位置合わせすることについて説明してきた。しかし、各ショット領域の基準点がそれぞれ正確に位置合わせされたからといって、必ずしも各ショット領域内のチップパターン全体とレチクルの投影像とが隔々まで正確に重なり合うとは限らない。

【0038】次に、この各ショット領域内の重ね合わせ誤差について説明する。既に説明したように、図4

(b)において、任意のショット領域 $27-n$ 上の座標系 (x , y) 上の設計上の座標値が (S_{1xn} , S_{1yn}) ~ (S_{4xn} , S_{4yn}) である位置にアライメントマーク $29-n$, $30-n$, $34-n$, $35-n$ が形成されている。本例では、その各ショット領域内の重ね合わせ誤差が以下の要因から生じたものとする。

⑤チップパターンの回転 (チップローテーション)：これは、例えばウエハ8上にレチクル2の投影像の露光を行う際、レチクル2がステージ座標系 (X , Y) に対して回転していたり、あるいはウエハステージ10の動きにヨーイングが混入していたりするときに生じるものであり、ショット領域の座標系 (x , y) に対する回転誤

差 θ で表される。ただし、 α 方向のウエハスケール R_x はウエハ8上の α 方向の2点間の距離の実測値と設計値との比、 β 方向のウエハスケール R_y は β 方向の2点間の実測値と設計値との比で表すものとする。

④ウエハ上の座標系 (α , β) のステージ座標系 (X , Y) に対するオフセット：これはウエハ8がウエハステージ10に対して全体的に微小量だけずれることにより生じ、オフセット量 O_x , O_y で表される。

【0033】上記の①~④の誤差要因が加わった場合、基準点の設計上の座標値が (C_{xn} , C_{yn}) のショット領域について、実際に露光するにあたって位置決めすべきステージ座標系 (X , Y) 上の座標 (C'_{xn} , C'_{yn}) は以下のように表される。

【0034】

【数4】

【0036】

【数5】

差 θ で表される。

⑥チップの直交度誤差：これは、例えばウエハ8上にレチクル2の投影像を露光する際に、レチクル2上のパターン自体の歪みや投影光学系7のディストーション (歪曲収差) 等によって生じるチップパターンの直交度の誤差であり、角度誤差 w で表される。

⑦チップの線形伸縮 (チップスケール)：これは、例えばウエハ8上にレチクル2の投影像の露光を行う際の投影倍率の誤差、あるいはウエハ8の加工プロセスによってウエハ8が全体的又は部分的に伸縮することによって生じるものである。ここでは、ショット領域の座標系 (x , y) の x 方向の2点間の距離の実測値と設計値との比である x 方向のチップスケール r_x 、及び y 方向の2点間の距離の実測値と設計値との比である y 方向のチップスケール r_y で2方向の線形伸縮を表すものとする。

【0039】例えば、図5(a)は前工程で形成された各ショット領域 $27-n$ のチップパターンに回転誤差及び倍率誤差が生じているウエハ8Aを示し、この図5(a)において、回転誤差及び倍率誤差が無い場合のショット領域の例を破線で囲んだショット領域 $36-6$ ~

36-10で表す。それに対して、ウエハ8A上に実際に形成されているショット領域27-6~27-10は回転角及び倍率が異なっている。これらの誤差は、図5(b)に示すように、ショット領域27-nが本来のショット領域36-nに対して傾斜しているチップローテーション誤差と、図5(c)に示すように、ショット領域27-nの倍率が本来のショット領域36-nの倍率と異なっているチップスケール誤差とに分離できる。

【0040】但し、図5の例ではチップパターンの直交

$$\begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ S'_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_x & 0 \\ 0 & r_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\tan W \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【0042】ここで、直交度誤差w及び回転誤差θが微小であるとして一次近似を行うと、(数6)は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ S'_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_x & -r_x \cdot (w + \theta) \\ r_y \cdot \theta & r_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【0044】さて、図4(b)において、任意のショット領域27-nの基準点28-nのステージ座標系(X, Y)上での配列座標値は(C_{Xn}, C_{Yn})であるため、その任意のショット領域上の任意のアライメントマーク(29-n又は30-n)のステージ座標系(X, Y)上の設計上の座標値(D_{NXn}, D_{NYn})は、次のように表される。但し、上述のようにNの値(1~4)によってアライメントマーク29-n~35-nの区別を行っている。

【0045】

【数8】

$$\begin{bmatrix} D_{NXn} \\ D_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

度誤差wが無く、且つx方向のチップスケールr_xとy方向のチップスケールr_yとが等しい場合を示している。上記の⑤~⑦の誤差要因が加わった場合、ショット領域27-n上の設計上の座標値が(S_{NXn}, S_{NYn}) (N=1~4)のアライメントマーク29-n, 30-n, 34-n, 35-nについて、実際に位置合わせすべきショット領域の座標系(x, y)上での座標値(S'_{NXn}, S'_{NYn})は以下のように表される。

【0041】

【数6】

$$\begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ S'_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\tan W \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【0043】

【数7】

【0046】上述の⑤~⑦の3個の誤差は、ウエハ8上の各ショット領域のアライメントマークを焼き付けた層にチップパターンを焼き付けた際に生じる。実際には更に、ウエハ8の加工プロセスによって生じる上述の②や③の誤差の影響を受けるため、アライメントマーク29-n, 30-n, 34-n, 35-nがステージ座標系(X, Y)上で実際にあるべき位置の座標を(F_{NXn}, F_{NYn}) (N=1~4)とすると、この座標値(F_{NXn}, F_{NYn})は(数5)及び(数7)から次のように表される。

【0047】

【数9】

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} F_{Nx_n} \\ F_{Ny_n} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} C'_{x_n} \\ C'_{y_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S'_{Nx_n} \\ S'_{Ny_n} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} R_x & -R_x \cdot (W + \Theta) \\ R_y \cdot \Theta & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{x_n} \\ C_{y_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix} \\
 &\quad + \begin{bmatrix} r_x & -r_x \cdot (w + \theta) \\ r_y \cdot \theta & r_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{Nx_n} \\ S_{Ny_n} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

【0048】次に、本実施例では最小自乗法の適用を容易にするため、その(数9)中の α 方向のウエハスケールリング R_x 、及び β 方向のウエハスケールリング R_y をそれぞれ新たなパラメータ Γ_x 、及び Γ_y を用いて次の(数10)のように表す。同様に、その(数9)中の x 方向のチップスケールリング r_x 、及び y 方向のチップスケールリング r_y をそれぞれ新たなパラメータ γ_x 、及び γ_y を用いて次の(数10)のように表す。

【0049】

【数10】

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} F_{Nx_n} \\ F_{Ny_n} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 + \Gamma_x & -(W + \Theta) \\ \Theta & 1 + \Gamma_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{x_n} \\ C_{y_n} \end{bmatrix} \\
 &\quad + \begin{bmatrix} 1 + \gamma_x & -(w + \theta) \\ \theta & 1 + \gamma_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{Nx_n} \\ S_{Ny_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

【0052】この(数11)において、2次元ベクトルを2行×1列の行列とみなすと、この(数11)を以下のような変換行列を用いた座標変換式に書き直すことができる。

【0053】

【数12】

$$R_x = 1 + \Gamma_x, \quad R_y = 1 + \Gamma_y,$$

$$r_x = 1 + \gamma_x, \quad r_y = 1 + \gamma_y$$

【0050】これら新たなそれぞれ線形伸縮の変化分を示す4個のパラメータ Γ_x 、 Γ_y 、 γ_x 、及び γ_y を用いて(数9)を書き換えると、(数9)は近似的に次のようになる。

【0051】

【数11】

$$F_{N_n} = A C_n + B S_{N_n} + O$$

【0054】但し、(数12)の各変換行列は次のように定義される。

【0055】

【数13】

$$\begin{aligned}
 F_{Nn} &= \begin{bmatrix} F_{NXn} \\ F_{NYn} \end{bmatrix}, & A &= \begin{bmatrix} 1 + \Gamma x & - (W + \Theta) \\ \Theta & 1 + \Gamma y \end{bmatrix} \\
 B &= \begin{bmatrix} 1 + \gamma X & - (w + \theta) \\ \theta & 1 + \gamma y \end{bmatrix}, & O &= \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix} \\
 C_n &= \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix}, & S_{Nn} &= \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

【0056】即ち、(数12)では、2行×1列の行列 F_{Nn} が、行列 AC_n と、行列 BS_{Nn} と、行列 O との加算で表されている。(数12)の座標変換式における変換行列 A 、 B 、 O に含まれる10個の誤差パラメータ Θ 、 W 、 $\Gamma x (=Rx-1)$ 、 Γy 、 O_x 、 O_y 、 θ 、 w 、 $\gamma x (=rx-1)$ 、 γy は、例えば最小自乗法によって求めることができる。

【0057】次に、図1のフローチャートを参照して、(数12)の座標変換式に基づいたアライメント動作及び露光動作の一例につき説明する。本実施例では、ウエハ上のアライメントマーク露光に使用された露光号機が既知であるとする。先ず図1のステップ101において、図2のウエハホルダー9上に今回の露光対象であるウエハ8のロードが行われる。ウエハ8の各ショット領域にはそれぞれ、前工程において既にチップパターンが形成されている。更に、図4(b)に示すように、ウエハ8上の各ショット領域27-nには、既知のレンズ・ディストーションを有する露光号機により、それぞれ4個の十字型のアライメントマーク29-n、30-n、34-n及び35-nが形成されている。また、レチクル2のアライメントが終了しており、不図示の干渉計によって規定される直交座標に対するレチクル2の X 、 Y 、回転方向のずれ量はほぼ零となっている。

【0058】ここで、アライメントマーク露光号機に固有のレンズ・ディストーションにより、ショット領域内の平均的な投影倍率が Me のときアライメントマーク位置での投影倍率 Ma は $Ma=Me+M1$ となり、またショット領域内での平均的な投影像の回転が Re のとき、アライメントマーク位置での投影像の回転は $Ra=Re+R1$ となっている。 $M1$ 及び $R1$ の量はレンズ・ディストーションデータから求めることができる。

【0059】次に、図1のステップ102において、ウエハ8の原点設定(プリアライメント)を行う。その後ステップ103において、図2のオフ・アクシスのアライメント系15を用いて、ウエハ8上の5個以上のアラ

イメントマーク(29-n、30-n、34-n又は35-n)のステージ座標系(X 、 Y)上での座標値(FM_{NXn} 、 FM_{NYn})を実測する。1個のアライメントマークには X 方向及び Y 方向の2つの成分があるため、5個以上のアライメントマークの座標値を実測することにより、10個以上のパラメータの値を決定することができる。実測するアライメントマークは、3個以上のショット領域27-nから選択する必要があるが、必ずしも1個のショット領域27-nから4個のアライメントマーク29-n～35-nを選択する必要はなく、1個のショット領域27-nからそれぞれ1個のアライメントマーク(29-n、30-n、34-n又は35-n)を選択するようにしてよい。

【0060】この場合、ウエハ8上で選択された複数のショット領域27-nの基準点28-nの、ウエハ8上の座標系(α 、 β)上での設計上の配列座標値(C_{Xn} 、 C_{Yn})と、測定されたアライメントマークの各ショット領域27-n上の座標系(x 、 y)での設計上の座標値(相対座標値)(S_{NXn} 、 S_{NYn})とが予め分かっている。そこで、ステップ104において、(数10)の右辺に、測定されたアライメントマークが属するショット領域の基準点の設計上の配列座標値(C_{Xn} 、 C_{Yn})、及びそのアライメントマークの基準点に関する設計上の相対座標値(S_{NXn} 、 S_{NYn})を代入することにより、そのアライメントマークがステージ座標系(X 、 Y)上であるべき計算上の座標値(F_{NXn} 、 F_{NYn})を求める。

【0061】そして、最小自乗法により(数12)を満足する10個の誤差パラメータ(Θ 、 W 、 Γx 、 Γy 、 O_x 、 O_y 、 θ 、 w 、 γx 、 γy)を求める。具体的には、実際に計測された座標値(FM_{NXn} 、 FM_{NYn})とその計算上の座標値(F_{NXn} 、 F_{NYn})の差(E_{NXn} 、 E_{NYn})をアライメント誤差と考える。従って、 $E_{NXn}=FM_{NXn}-F_{NXn}$ 、 $E_{NYn}=FM_{NYn}-F_{NYn}$ が成立している。そして、5組以上のアライメント誤差(E_{NXn} 、 E_{NYn})、即ち10個以上のアライメント誤差の自乗和を

それら10個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値がそれぞれ0になるような方程式をたてて、それら10個の連立方程式を解けば10個の誤差パラメータを求めることができる。

【0062】その後ステップ105において、(数12)の変換行列B中のチップローテーションの回転誤差 θ を補正するように、図2のレチクルステージ3を介してレチクル2に適当な回転を施すか、又はウェハ8を回転させることにより、ステージ座標系(X, Y)に対するチップパターンの回転を補正する。これは(数11)で示す変換行列Bの要素を構成する回転誤差 θ に合わせて、レチクル2又はウェハ8を回転することを意味する。ただし、求められたチップローテーションの回転誤差 θ には、前述のようにアライメントマーク露光号機に固有の誤差R1が含まれているため、ステップ105においてレチクル又はウェハを回転すべき量は $(\theta - R1)$ である。

【0063】なお、ウェハ8を回転した場合には、ウェハ8のオフセット誤差(O_x, O_y)が変化する真があるため、再びアライメントマークの座標値の計測を行った後、従来の通常の多点EGA演算を行って誤差パラメータを求め直す必要がある。そこで、例えばウェハ8を角度 $(\theta - R1)$ だけ回転した場合には、従来のチップパターン内の誤差を考慮しない場合と同様に、ウェハ8上の少なくとも3個のショット領域のアライメントマークのステージ座標系(X, Y)での座標値を計測し直す。そして、その結果から6個の誤差パラメータ($\Theta, W, R_x, R_y, O_x, O_y$)の値を決定し、この結果から算出した配列座標に基づいて各ショット領域の位置合わせを行って露光を行う。

【0064】次に、チップの直交度誤差wは、厳密な意味では補正できないが適度にレチクル2を回転させることで、その誤差を小さく抑えることができる。そこで、回転誤差 Θ 、回転誤差 θ 及び直交度誤差wのそれぞれの絶対値の和が最小になるように、レチクル2又はウェハ8の回転量を最適化することも可能である。次に、ステップ106において、(数12)の変換行列B中のチップスケーリング誤差を補正するように、図2の結像特性制御装置14を介して投影光学系7の投影倍率を調整する。これは(数11)で示す変換行列Bの要素を構成するチップスケーリング $r_x (=1 + \gamma_x)$ 及び $r_y (=1 + \gamma_y)$ に合わせて、投影光学系7の投影倍率を調整することを意味する。ただし、求められたチップスケーリング r_x 及び r_y には、前述のようにアライメントマーク露光号機に固有の誤差 r_{x1} 及び r_{y1} が含まれている。この露光号機に固有の誤差 r_{x1} 、 r_{y1} はレンズ・ディストーションデータからもとめることができる。従って、ステップ106では、投影光学系7の投影倍率をチップスケーリング $(r_x - r_{x1})$ 及び $(r_y - r_{y1})$ に合わせて調整する。

【0065】その後、図1のステップ107において、ステップ104で求めた誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列A及びOを用いて、次式にウェハ8上の各ショット領域27-nの基準点28-nの設計上の配列座標値(C_{xn}, C_{yn})を代入することにより、その基準点28-nのステージ座標系(X, Y)上での計算上の配列座標値(G_{xn}, G_{yn})を求める。但し、上述したように、ステップ105でローテーション誤差を補正するためにウェハ8側を回転した場合には、再び計測したアライメントマークの座標に基づいて、各基準点28-nのステージ座標系(X, Y)上での計算上の配列座標値(G_{xn}, G_{yn})を求める。

【0066】

【数14】

$$\begin{bmatrix} G_{xn} \\ G_{yn} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} C_{xn} \\ C_{yn} \end{bmatrix} + O$$

【0067】そして、ステップ108において、計算により得られた配列座標(G_{xn}, G_{yn})及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウェハ8上の各ショット領域27-nの基準点28-nを順次図2の投影光学系7の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、当該ショット領域27-nに対してレチクル2のパターン像を投影露光する。そして、ウェハ8上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウェハ8の現像等の処理が行われる。

【0068】この場合、本例では(数12)に示す変換行列A、O及びBのみならず、アライメントマーク露光号機のレンズ・ディストーションをも考慮しているので、アライメントマーク自体に含まれている誤差を取り込むことなく、ウェハ8上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。

【0069】次に、アライメントマーク露光号機が未知であってアライメントマークに含まれている誤差を予め知ることができない場合の実施例について説明する。この場合には、ショット領域内アライメントマークの計測値から、多点EGA演算により誤差パラメータ $\Theta, W, R_x (=1 + \Gamma_x), R_y (=1 + \Gamma_y), O_x, O_y, \theta, w, r_x (=1 + \gamma_x), r_y (=1 + \gamma_y)$ を求める。これらの誤差パラメータを用いた座標変換によって設計上の座標値から計算されるステージ座標系(X, Y)上であるべきアライメントマークの座標値と、実際の座標値との差を誤差の非線形成分とする。この誤差の非線形成分を、既知のレンズ・ディストーションを有する各露光号機によってアライメントマークを露光した場合に予測される誤差の非線形成分と比較することによってアライメントマーク露光号機を特定する。

【0070】その後は、前記実施例と同様にして、この特定されたアライメントマーク露光号機に固有の誤差を差し引いて、レチクル又はウエハを回転させることでチップローテーションの回転誤差 θ を補正し、チップスケールリング r_x 及び r_y に合わせて投影光学系の投影倍率を調整した上で、前記誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列A及びOを用いて、各ショット領域の基準点のステージ座標系(X, Y)上での計算上の配列座標値を求める。そして、計算により得られた配列座標及び予め求めたベースライン量に基づいて、ウエハ上の各ショット領域の基準点を順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、そのショット領域に対してレチクルのパターン像を投影露光することを繰り返す。ここで、アライメントマーク露光号機を特定する方法について詳細に説明する。いま、図6に示すように、ウエハ8内の10のショット領域40-n ($n=1\sim 10$)について、各ショット領域40-n内の4個のアライメントマーク42-n, 43-n, 44-n, 45-n (ここでは、4個のアライメントマークはショット領域の4隅に設けられているものとした)を使って、ショット内多点計測を行う場合を考える。ステージ座標系(X, Y)、ウエハ上の座標系(α , β)、ショット領域上の座標系(x, y)の設定は前記実施例と同様とし、また、各座標の表記方法も前記実施例と同様とする。すなわち、各ショット領域40-nには基準位置が定められ、基準位置を例えば各ショット領域40-nの中心の基準点41-nとすると、この基準点41-nの、ウエハ8上の座標系(α , β)における設計上の座標値は、それぞれ(C_{xn} , C_{yn})で表されるものとする。ショット領域上の座標系(x, y)はウエハ上の座標系(α , β)に平行に設定され、各ショット領域40-nに設けられた4個の位置合わせ用のアライメントマーク42-n, 43-n, 44-n, 45-nの座標系(x, y)上における設計上の座標はそれぞれ(S_{1xn} , S_{1yn})、(S_{2xn} , S_{2yn})、(S_{3xn} , S_{3yn})及び(S_{4xn} , S_{4yn})で表される。

【0071】前記実施例と同様の方法で多点EGA演算を行って(数12)(数13)で示される座標変換式の変換行列A, B, Oに含まれる10個の誤差パラメータ Θ , W, $\Gamma_x (=R_x - 1)$, Γ_y , O_x , O_y , θ , w, $\gamma_x (=r_x - 1)$, $\gamma_y (=r_y - 1)$ を、例えば最小自乗法によって求める。次に、こうして決定された誤差パラメータを含む座標変換式によって計算されたアライメントマークの座標値(F_{NXn} , F_{NYn})と実際に計測された座標値($F_{M_{NXn}}$, $F_{M_{NYn}}$)とのずれ量(R_{NXn} , R_{NYn})、すなわち $R_{NXn} = F_{M_{NXn}} - F_{NXn}$ 、 $R_{NYn} = F_{M_{NYn}} - F_{NYn}$ を10個のショット領域40-n ($n=1\sim 10$)内の各アライメントマーク42-n, 43-n, 44-n, 45-n全てについて求める。表式中、nの値(1~10)によってショット領域

40-1~40-10の区別を行い、Nの値(1~4)によってアライメントマーク42-n, 43-n, 44-n, 45-nの区別を行っている。

【0072】ここで求めたずれ量(R_{NXn} , R_{NYn})をランダムエラーと呼ぶことにする。ランダムエラーは、各ショット領域40-nの4箇所の位置それぞれに対して、ウエハ内10ショット分求められる。図6(a)には、各ショット領域40-1~40-nにそれぞれ設けられた4箇所のアライメントマーク42-n, 43-n, 44-n, 45-nの位置におけるランダムエラー(R_{NXn} , R_{NYn})を模式的にベクトル表示してある。これらをショット領域の各アライメントマーク位置で平均したものを、ショット内ランダムエラー(RE_{NX} , RE_{NY})とする。すなわち、いまの場合 $RE_{NX} = \sum R_{NXn} / 10$ 、 $RE_{NY} = \sum R_{NYn} / 10$ ($N=1\sim 4$)である。図6(b)には、このショット内ランダムエラー(RE_{1x} , RE_{1y})、(RE_{2x} , RE_{2y})、(RE_{3x} , RE_{3y})、(RE_{4x} , RE_{4y})をベクトル表示してある。

【0073】一方、全露光号機についてその投影レンズのディストーション・データが予め求められている。このディストーション・データは、例えばショット領域内の17点についてのディストーション・データからなり、重ね焼きを行う露光装置に記憶させてある。或いは、全露光号機のディストーション・データを集中管理しておいて、必要によりオンラインで照会するという方法をとることもできる。

【0074】この各露光号機のそれぞれの投影レンズのディストーションデータに対して、 $\Theta=0$, $W=0$, $\Gamma_x=0$, $\Gamma_y=0$, $O_x=0$, $O_y=0$ とし、ショットセンタを中心にして多点EGA演算と同じ演算を行ってショット領域内誤差パラメータ θ , w, $\gamma_x (=r_x - 1)$, $\gamma_y (=r_y - 1)$ を求め、この誤差パラメータを含む座標変換式から計算されるアライメントマーク位置でのディストーション値と実際のディストーションデータとを比較して、その差分として4点のディストーション・ランダムエラー(DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) ($N=1\sim 4$)を求める。ここで、mは露光号機を識別するための番号($m=1, 2, 3, \dots$)である。

【0075】次に、先に求めたショット内ランダムエラー(RE_{NX} , RE_{NY}) ($N=1\sim 4$)と各露光号機の投影レンズのディストーション・ランダムエラー(DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) ($N=1\sim 4$)とを比較して、最も近い投影レンズを選択する。この比較は、例えば次のような方法で行うことができる。ショット内ランダムエラーのデータ(RE_{NX} , RE_{NY})のベクトル X_N ($N=1\sim 4$)に対して、ディストーション・ランダムエラー(DRE_{NXn} , DRE_{NYn})のベクトルを 1_{Nb} ($N=1\sim 4$)で表す。ベクトル X_N , 1_{Nb} のなす角を θ_{Nb} ($N=1\sim 4$)とすると、ベクトル X_N , 1_{Nb} が近いための条件は、ベクトル X_N , 1_{Nb} のなす角 θ_{Nb} が小さく、か

つ、 X_N , 1_{Nn} の長さの差が小さいことである。これにより、各点について $S_{Nn} = |X_N - 1_{Nn}|$ ($N=1 \sim 4$) を求める。それらの和をとると

$$\sum S_{Nn} = \sum |X_N - 1_{Nn}| \quad (N=1 \sim 4)$$

この値が小さければ小さいほど、データ (RE_{NX} , RE_{NY}) のベクトル X_N と、ディストーション・ランダムエラー (DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) のベクトル 1_{Nn} との一致度が高いことを示している。そこで、比較対象となる全露光号機 ($m=1, 2, 3 \dots$) のディストーション・データについて式 $\sum S_{Nn}$ を求めて、最も値の小さくなるものを見つけ出す。

【0076】以上のような方法により、アライメントマーク露光号機を特定し、その露光号機の投影レンズのディストーション・データ (DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) ($N=1 \sim 4$) を選択する。そして、特定したアライメントマーク露光号機のディストーション・データから、アライメントマーク位置におけるその露光号機に特有のレンズ倍率誤差 $M1$ 及びレンズ回転 $R1$ を算出することができる。

【0077】次に、図7のフローチャートを参照して、本実施例のアライメント動作及び露光動作につき説明する。まず、前記実施例と同様に、ステップ201において、図2のウエハホルダー9上に今回の露光対象であるウエハ8のロードが行われる。ウエハ8の各ショット領域にはそれぞれ、前工程において既にチップパターンが形成されている。更に、ウエハ8上の各ショット領域40-nには、未知のレンズ・ディストーションを有する露光号機により、それぞれ4個の十字型のアライメントマーク42-n, 43-n, 44-n及び45-nが形成されている。また、レチクル2のアライメントが終了しており、不図示の干渉計によって規定される直交座標に対するレチクル2の X , Y , 回転方向のずれ量はほぼ零となっている。

【0078】次に、ステップ202においてウエハ8の原点設定（プリアライメント）を行い、ステップ203において、図2のオフ・アクシスのアライメント系15を用いて、ウエハ8上の5個以上のアライメントマーク（42-n, 43-n, 44-n又は45-n）のステージ座標系 (X , Y) 上での座標値 (FM_{NXn} , FM_{NYn}) を実測する。ウエハ8上で選択された複数のショット領域40-nの基準点41-nの、ウエハ8上の座標系 (α , β) 上での設計上の配列座標値 (C_{Xn} , C_{Yn}) と、測定されたアライメントマークの各ショット領域40-n上の座標系 (x , y) での設計上の座標値（相対座標値） (S_{NXn} , S_{NYn}) とは予め分かっているため、ステップ104において、前記実施例と同様に（数10）の右辺に、測定されたアライメントマークが属するショット領域の基準点の設計上の配列座標値 (C_{Xn} , C_{Yn})、及びそのアライメントマークの基準点に関する設計上の相対座標値 (S_{NXn} , S_{NYn}) を代入するこ

とにより、そのアライメントマークがステージ座標系 (X , Y) 上であるべき計算上の座標値 (F_{NXn} , F_{NYn}) を求める。

【0079】そして、最小自乗法により（数12）を満足する10個の誤差パラメータ (Θ , W , Γ_x , Γ_y , O_x , O_y , θ , w , γ_x , γ_y) を求める。具体的には、実際に計測された座標値 (FM_{NXn} , FM_{NYn}) とその計算上の座標値 (F_{NXn} , F_{NYn}) の差 (E_{NXn} , E_{NYn}) をアライメント誤差と考える。従って、 $E_{NXn} = FM_{NXn} - F_{NXn}$, $E_{NYn} = FM_{NYn} - F_{NYn}$ である。そして、5組以上メント誤差 (E_{NXn} , E_{NYn})、即ち10個以上のアライメント誤差の自乗和をそれら10個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値がそれぞれ0になるような方程式をたてて、それら10個の連立方程式を解けば10個の誤差パラメータを求めることができる。ここまでの手順は前記実施例と全く同様である。

【0080】次に、ステップ205において、求められた誤差パラメータを含む座標変換式によって計算されたアライメントマークの座標値と実際に計測された座標値とのずれ量であるランダムエラー (R_{NXn} , R_{NYn}) を全てのショット領域について求め、それをショット領域の各アライメントマーク位置で平均して、図6(b)に示すショット内ランダムエラー (RE_{NX} , RE_{NY}) ($N=1 \sim 4$) を算出する。

【0081】ステップ206では、全ての露光号機について、その投影レンズの既知のディストーション・データに対してショットセンタを中心にして、多点EGA演算と同じ演算を行ってショット領域内誤差パラメータを求め、その誤差パラメータを含む座標変換式から計算されるディストーション値と実際のディストーションデータとを比較して、アライメント位置でのディストーション・ランダムエラー (DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) を求める。

【0082】ステップ207では、計測されたショット内ランダムエラー (RE_{NX} , RE_{NY}) と各露光号機の投影レンズのディストーション・ランダムエラー (DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) とを比較して、実際のランダムエラーに最も近いランダムエラーを発生する投影レンズを選択する。次に、ステップ208で、こうして特定したアライメントマーク露光号機の投影レンズのディストーション・データ (DRE_{NXn} , DRE_{NYn}) を用いて、アライメントマーク位置におけるその露光号機に特有のレンズ倍率誤差 $M1$ 及びレンズ回転 $R1$ を算出する。

【0083】その後は、前記実施例と同様に、ステップ209において、多点EGA演算で求められたチップローテーションの回転誤差 θ をアライメント露光号機に固有のレンズ回転 $R1$ で補正した量、($\theta - R1$)だけレチクル又はウエハを回転させて、ステージ座標系 (X , Y) に対するチップパターンの回転を補正する。さらにステップ210において、投影光学系の投影倍率を、多

点EGA演算で求められたチップスケール r_x , r_y からアライメントマーク露光号機に固有のレンズ倍率誤差 r_{x1} , r_{y1} を差し引いたチップスケール $r_x - r_{x1}$ 及び $r_y - r_{y1}$ に合わせて調整する。

【0084】そして、ステップ211において、ステップ204で求めた誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列A及びOを用いて、(数14)にウエハ8上の各ショット領域40-nの基準点41-nの設計上の配列座標値(C_{xn} , C_{yn})を代入することにより、その基準点41-nのステージ座標系(X, Y)上での計算上の配列座標値(G_{xn} , G_{yn})を求め、ステップ212において、計算により得られた配列座標(G_{xn} , G_{yn})及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ8上の各ショット領域40-nの基準点41-nを順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、当該ショット領域40-nに対してレチクルのパターン像を投影露光する。そして、ウエハ上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウエハの現像等の処理が行われる。

【0085】本実施例においても、(数12)に示す変換行列A、O及びBのみならず、アライメントマーク露光号機のレンズ・ディストーションをも考慮しているので、アライメントマーク自体に含まれている誤差を取り込むことなく、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。

【0086】前記いずれの実施例においても、同一ロット内のウエハは、同一の露光号機によってアライメントマークが形成されていてディストーションが同じとみなしてよい。従って、全てのウエハについてランダムエラーを求め、他のディストーション・データと比較する必要はなく、先頭ウエハで選定したディストーション・データを2枚目以降のウエハに対しても適用することができる。また、先頭ウエハに対しては、全ショット領域に対して多点EGA計測を行うことでショット内の非線形誤差をより正確に算出することができる。

【0087】続いて、2nd層露光装置のレンズ倍率、レンズ回転を考慮する場合の補正方法について説明する。1st層露光装置のレンズ倍率M1とレンズ回転R1を差し引いたショット倍率Me、ショット回転Reは上記と同様に下式で表すことができる。

$$Me = Ma - M1$$

$$Re = Ra - R1$$

2nd層露光装置が1st層露光装置と同一の場合、ショット倍率、ショット回転の目標値をMe, Reとして制御する。

【0088】2nd層露光装置のアライメント・マーク位置におけるディストーションから求めたレンズ倍率とレンズ回転をそれぞれM2, R2とする。1st層露光装置と2nd層露光装置とのアライメント・マーク位置

におけるレンズ倍率差Md及びレンズ回転差Rdはそれぞれ次式のようにになる。

$$Md = M2 - M1$$

$$Rd = R2 - R1$$

2nd層のショット倍率及びショット回転を補正するとき、これらのレンズ倍率差Md及びレンズ回転差Rdがあるので、差し引いてやらなければならない。よって、ショット倍率とショット回転の目標値をそれぞれMt, Rtとすると、これらは次式で表すことができる。

$$Mt = Me - Md = Ma - M1 - (M2 - M1) = Ma - M2$$

$$Rt = Re - Rd = Ra - R1 - (R2 - R1) = Ra - R2$$

このような補正を行う場合、アライメント・マーク位置とバーニア・マーク位置はほとんど同じ、あるいはバーニア・マークそのものを使ってアライメントを行うことが望ましい。

【0090】本発明はステップ・アンド・リピート方式の露光装置(例えば縮小投影型のステッパーや等倍投影型のステッパー)のみならず、所謂ステップ・アンド・スキャン露光方式の露光装置においても、本発明を同様に適用することができる。なお、ステップ・アンド・スキャン露光方式の露光装置を始めとする走査型の露光装置で上述のアライメント方法を適用する場合には、上述の実施例で求めた座標位置に所定のオフセット(パターンサイズ、レチクル及びウエハの助走区間等に応じて一義的に定まる値)を加えた位置にウエハを位置決めしてから、走査露光を行うことになる。

【0091】このように、本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0092】

【発明の効果】本発明によると、アライメントマーク自体に含まれる誤差を排除して露光装置の調整を行うことができるため、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。また、ショット内多点EGAを行って算出されたランダムエラー(非線形誤差)を利用してアライメントマーク形成に使われた露光号機を特定する。従って、アライメントマーク露光号機が未知な場合でも、号機の推定が可能となるので、ウエハ毎のディストーション管理が不要となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による位置合わせ方法の一実施例が適用されたアライメント動作及び露光動作を示すフローチャートである。

【図2】その実施例のアライメント動作及び露光動作が実施される投影露光装置の一例を示す構成図である。

【図3】図2の指標板上のアライメントマークの像を示す拡大図である。

【図4】 (a) は実施例のウエハ上のショット領域の配列の一例を示す平面図、(b) は図4 (a) 内のショット領域を示す拡大平面図である。

【図5】 (a) はチップパターンの回転誤差及びチップ倍率の誤差を含んだウエハの一例を示す平面図、(b) はチップローテーション誤差の説明図、(c) はチップ倍率誤差の説明図である。

【図6】 (a) はウエハ内のショット領域の配列の例を示す平面図、(b) はショット内ランダムエラーの説明図である。

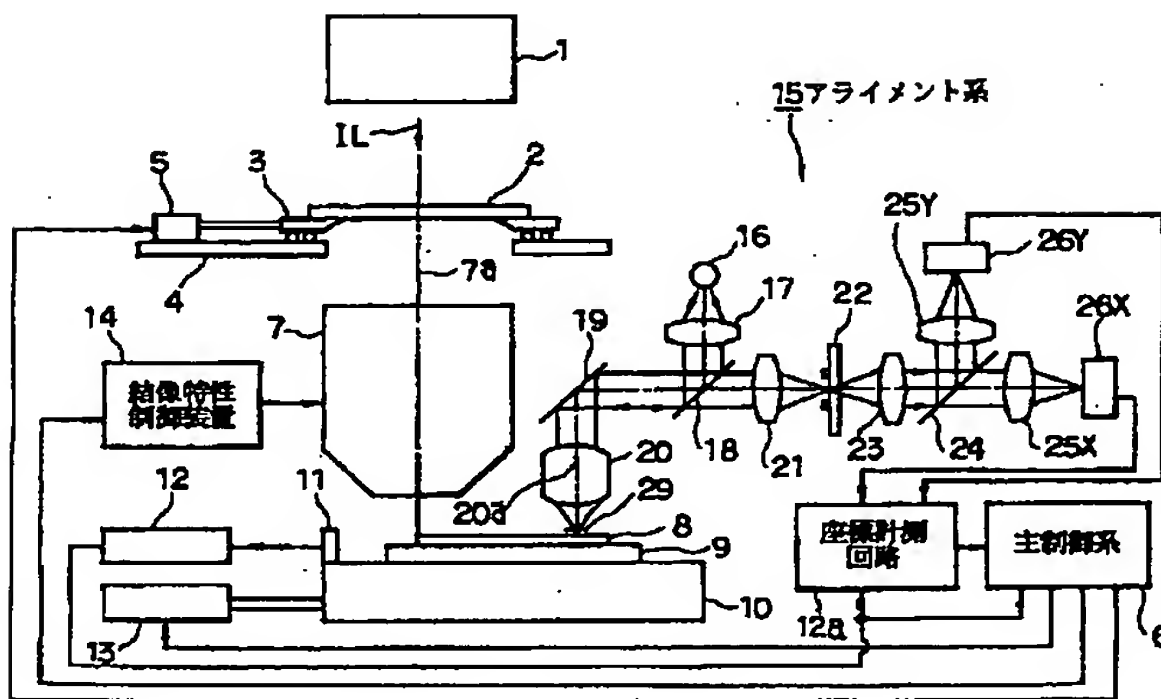
【図7】 本発明による位置合わせ方法の他の実施例が適用されたアライメント動作及び露光動作を示すフローチャートである。

【符号の説明】

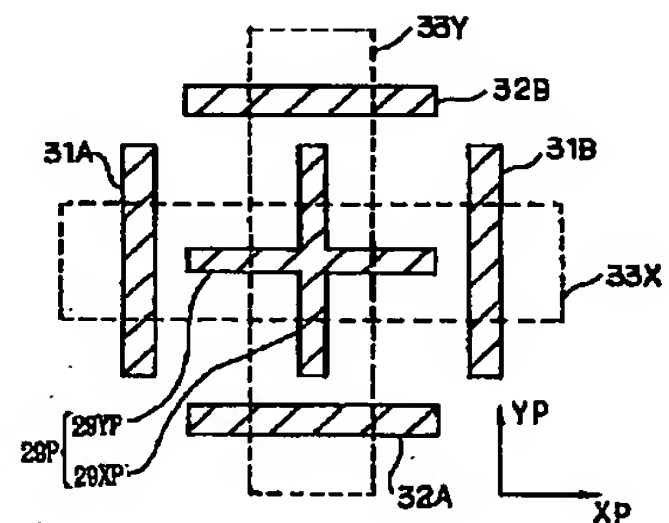
- 1 照明光学系
- 2 レチクル
- 6 主制御系
- 7 投影光学系

- 8 ウエハ
- 10 ウエハステージ
- 12 レーザ干渉計
- 14 結像特性制御装置
- 15 オフ・アクシスアライメント系
- 27-1~27-5, 27-n ショット領域
- 28-1~28-5, 28-n 基準点
- 29-1~29-3, 29-n アライメントマーク
- 30-1~30-3, 30-n アライメントマーク
- 34-1~34-3, 34-n アライメントマーク
- 35-1~35-3, 35-n アライメントマーク
- 40-1~40-10, 40-n ショット領域
- 41-1~41-10 基準点
- 42-1~42-10, 42-n アライメントマーク
- 43-1~43-10, 43-n アライメントマーク
- 44-1~44-10, 44-n アライメントマーク
- 45-1~45-10, 45-n アライメントマーク

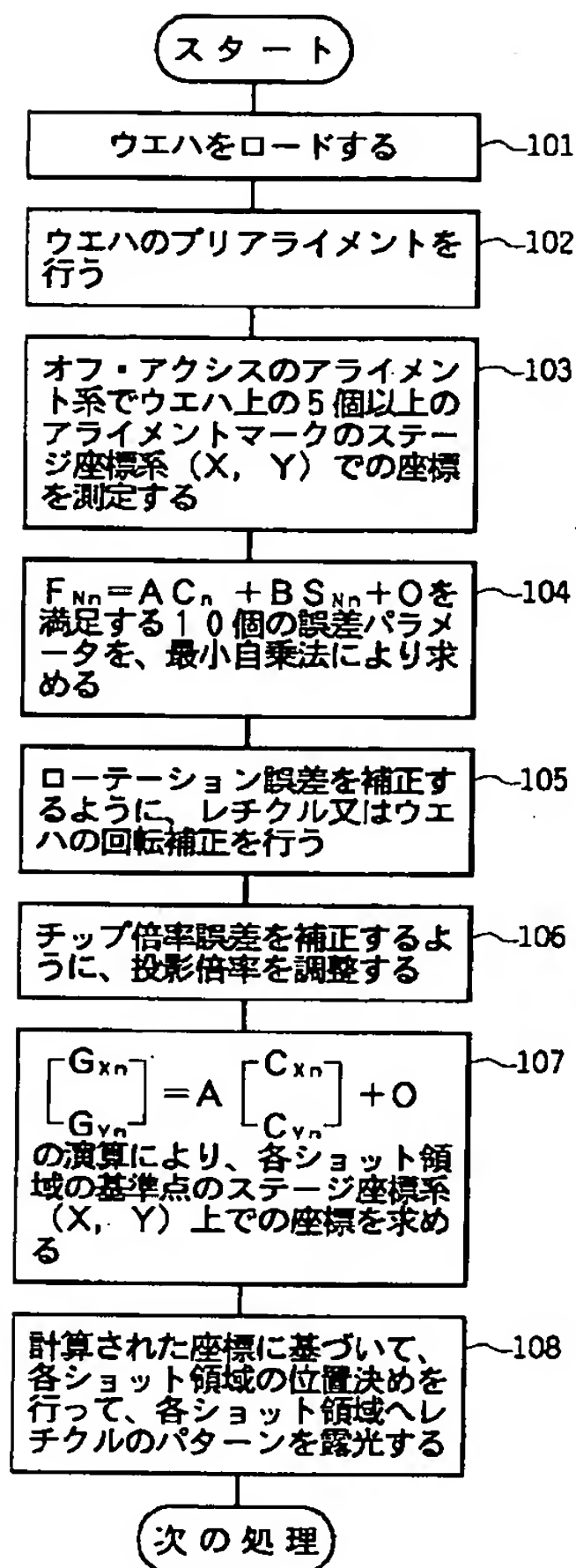
【図2】



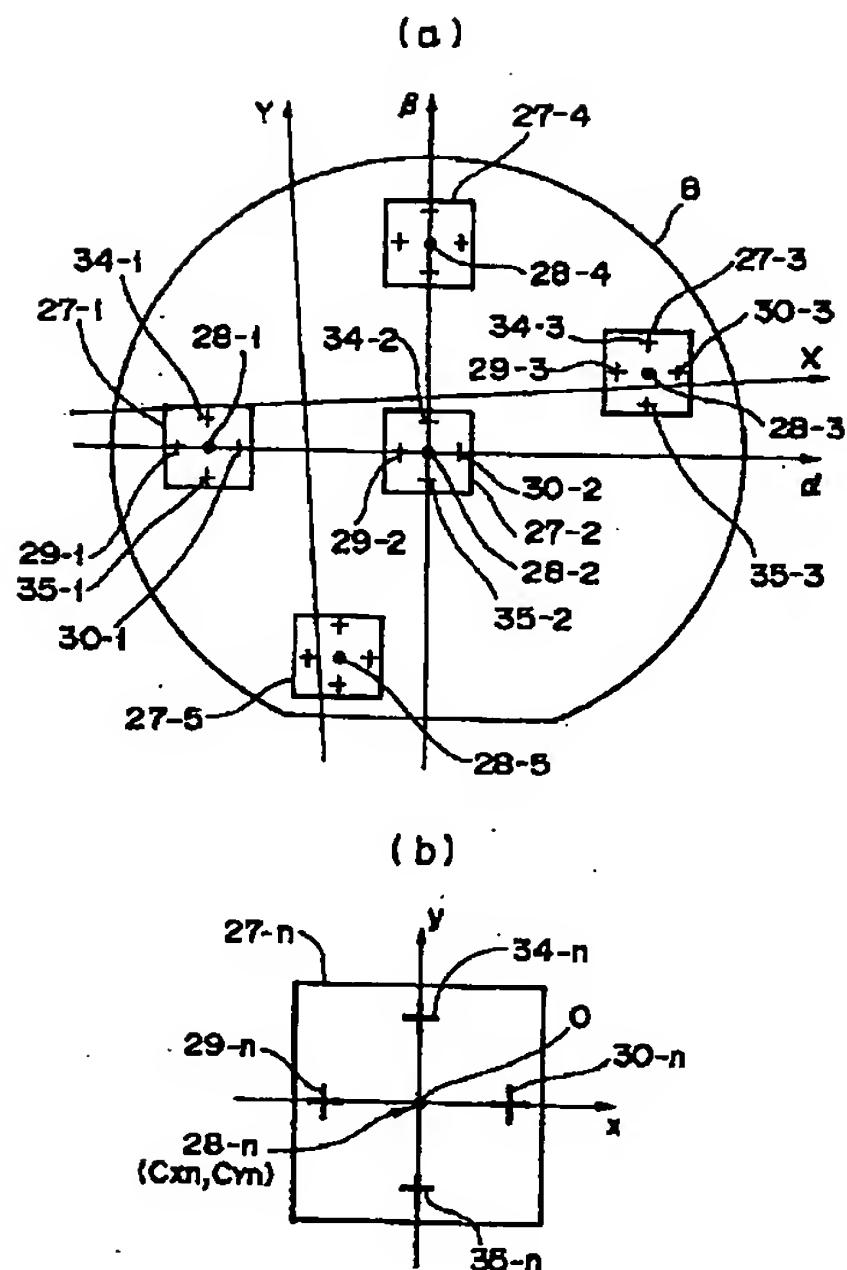
【図3】



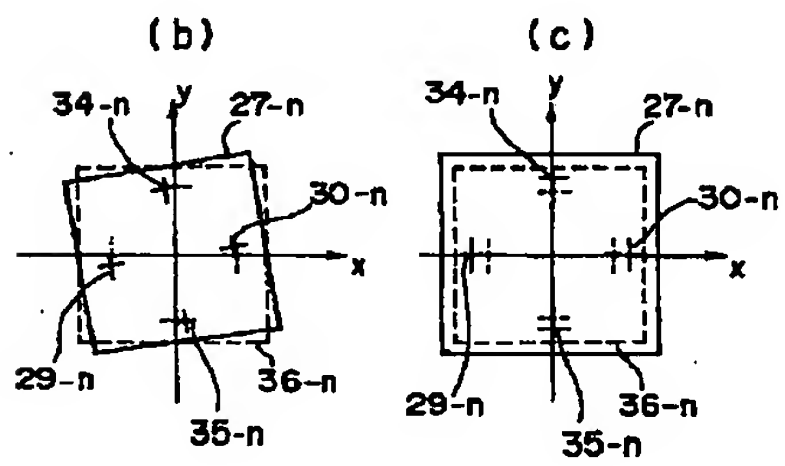
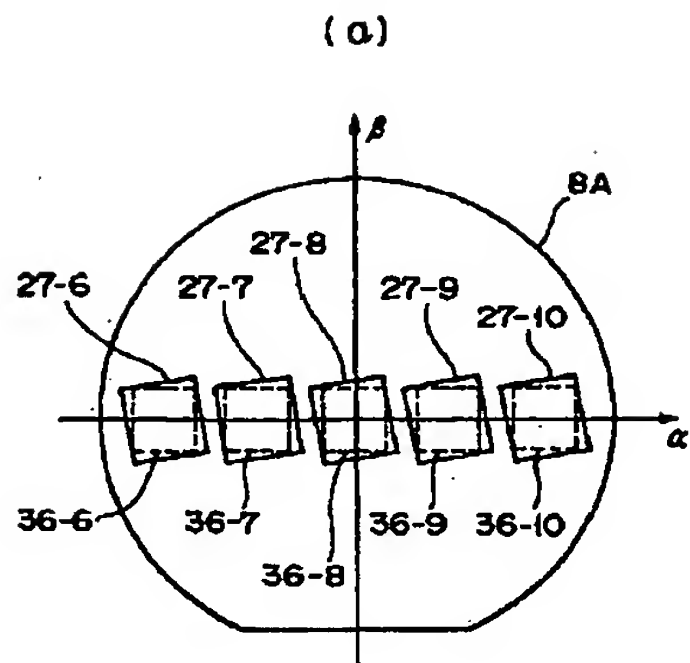
【図 1】



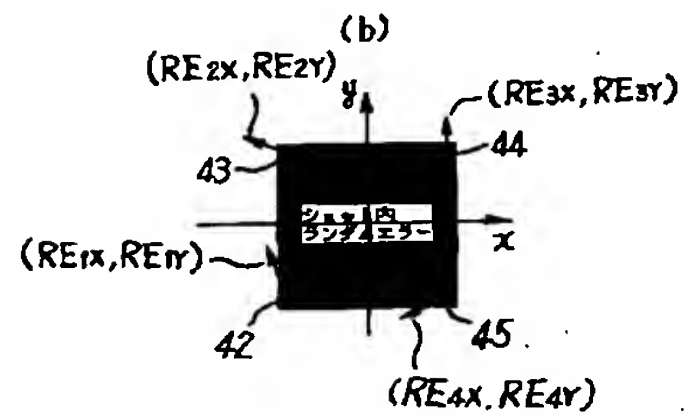
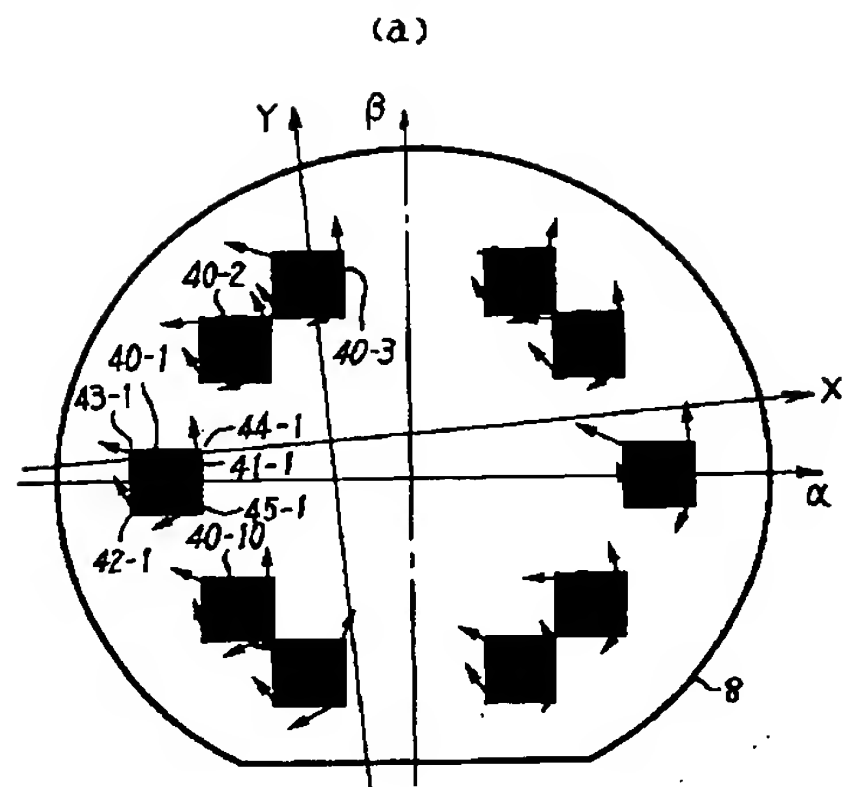
【図 4】



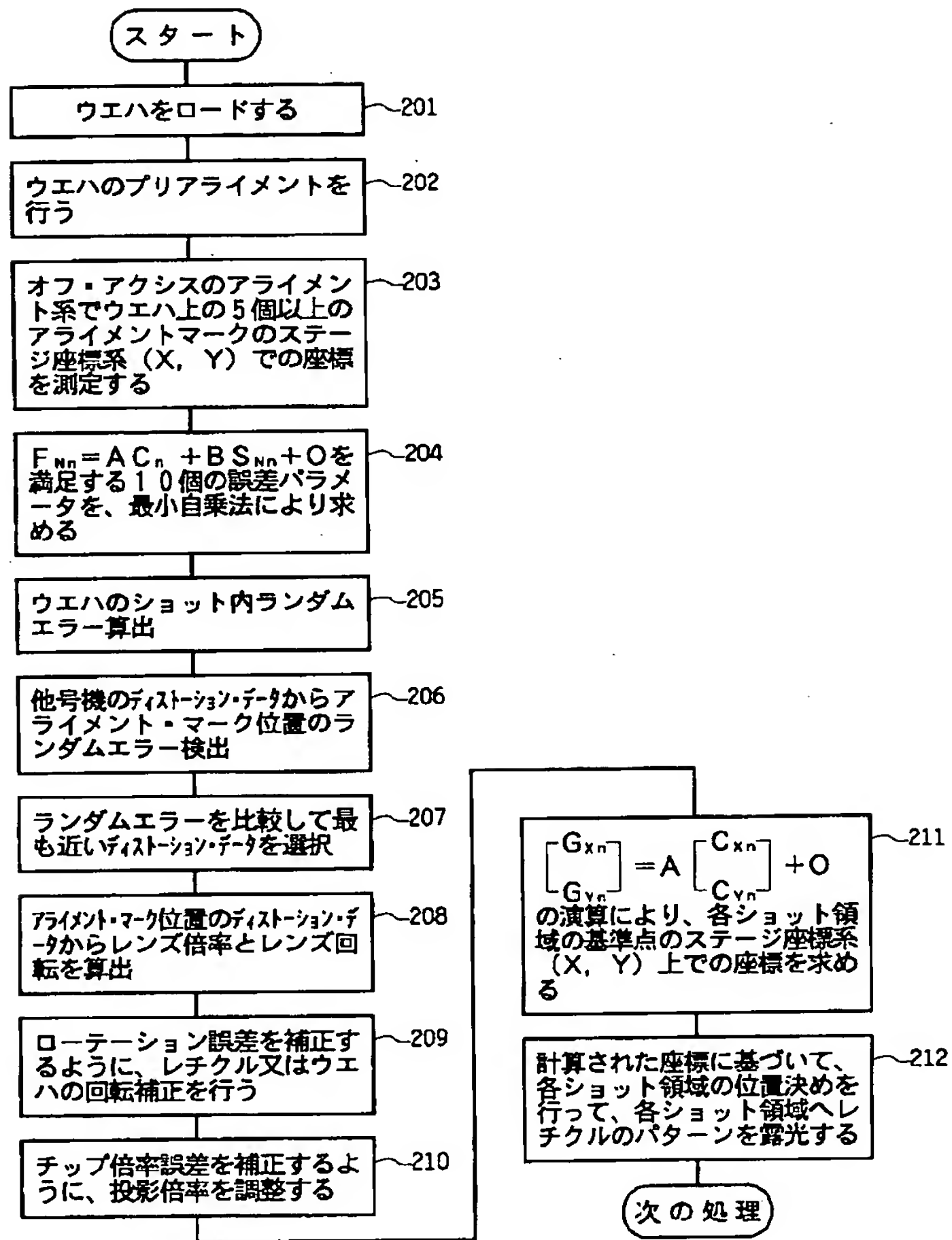
【図5】



【図6】



【図 7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/30

技術表示箇所

5 2 7